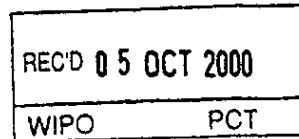


PCT/14/00100709

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

Helsinki 28.8.2000

E T U O I K E U S T O D I S T U S
P R I O R I T Y D O C U M E N T



Hakija
Applicant

Ahlstrom Machinery Oy
Helsinki

Patentihakemus nro
Patent application no

19991793

Tekemispäivä
Filing date

23.08.1999

Kansainvälinen luokka
International class

D21F

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Menetelmä paperikoneen tai vastaavan lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi"

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.I(a) OR (b)

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

Pirjo Kaila
Tutkimusselitteen
virasto

EPO - DG 1

12.08.2002

(69)

Maksu 300,- mk
Fee 300,- FIM

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

1
A 1

Menetelmä paperikoneen tai vastaavan lähestymisjärjestelmä toiminnan ohjaamiseksi

Esillä olevan keksinnön kohteena on menetelmä paperikoneen tai vastaavan

- 5 lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi. Erityisen edullisesti keksinnön mukainen ja menetelmä lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi soveltuват käytettäväksi paperi- ja kartonkoneiden sekä erilaisten non-woven- rai-nausta suorittavien koneiden yhteydessä.
- 10 Ennalta tunnetun tekniikan mukaiset paperikoneen lähestymisjärjestelmät, joista hyvän käsityksen antaa mm. US patentijulkaisu 4,219,340, koostuvat lähestulkoon aina seuraavista komponenteista. Sekoitussäiliö, syöttöpumppu, pyörrepuhdistuslaitos, kaasunerotussäiliö, peräläatikon syöttöpumppu, peräläatikkosihli, paperikoneen peräläatikko ja viiravesien keräälyaltaat. Mainitut 15 komponentit on sijoitettu paperikoneen yhteyteen ja järjestetty toimimaan seuraavasti. Sekoitussäiliöön, jota usein kutsutaan myös viirakaivoksi ja joka sijaitsee tavallisesti tehtaan pohjatasolla annostellaan paperinvalmistuksessa käytettävä kuituaine ja täyteaineet, joiden laimennukseen käytetään paperikoneelta, lähinnä sen viiraosalta saatavaa ns. viiravettä. Niinikään tehtaan pohjatasolle sijoittuvalla syöttöpumpulla kuitususpensio pumpataan sekoitussäiliöstä tavallisesti tehtaan konetasolle, se taso, johon paperikone sijoittuu, tai, kuten em. patentissa, sen yläpuolella olevaan pyörrepuhdistuslaitokseen. Pyörrepuhdistuslaitoksen akseptoima kuitususpensio jatkaa edelleen mainitun syöttöpumpun kehittämällä paineella kaasunerotussäiliöön, joka on sijoitettu 20 konetasoon yläpuolelle olevalle tasolle. Kaasunerotussäiliöstä kuitususpensio, josta kaasu on mahdollisimman tarkkaan poistettu, virtaa tehtaan pohjatasolla olevalle peräläatikon syöttöpumpulle, joka pumppaa kuitususpension niinikään pohjatasolla olevalle peräläatikkosihdille (ei esitetty em. US patentissa), josta kuitususpensio virtaa konetasolle paperikoneen peräläatikkoon.
- 25

- Kaasunerotussäiliö, jota on kuvattu sekä edellä mainitussa US patentissa 4,219,340 että hieman uudempana muunnelmana US patenttijulkaisussa 5,308,384, vaatii toimiakseen tyhjöjärjestelmän, johon tavallisimmin kuuluu kaasunerotussäiliön kanssa samalle tasolle sijoittuva tyhjöpumppu, useimmiten ns. nesterengaspumppu, ja pisaranerotin, jolla tyhjöpumpun imemästä kaasusta erotetaan siinä mahdollisesti olevat nestepisarat. Itse kaasunerotussäiliö on perinteisesti suurikokoinen olennaisesti vaakasuora säiliö, jonka sisälle pyörrepuhdistuslaitoksesta tuleva kuitususpensio suihkutetaan erillisten suihkuputken kautta. Suihkutukseen tarkoituksesta on antas kuplamaiselle kaasulle mahdollisuus poistua kuitususpensiosta jo tässä vaiheessa. Kaasunerotussäiliössä on vielä useimmiten väliseinä, ns. ylijuoksukynnys, jonka tarkoituksesta on pitää kuitususpension pinnankorkeus vakiona säiliössä, joskin myös ylijuoksuttomia kaasunerotussäiliöitä tunnetaan. Tarkoituksesta pinnankorkeuden vakiomisella on varmistaa se, että perälaatikon syöttöpumpun tulopaine olisi vakio, jolla samalla varmistettaisiin, että perälaatikolle virtaa vakiomäärä paperimassaa. Toisin sanoen, sekoitussäiliöstä syötetään pyörrepuhdistuslaitoksen läpi kaasunerotussäiliölle aina jonkin verran enemmän kuitususpensiota kuin perälaatikko tarvitsee. Yli määäräinen kuitususpensio juoksutetaan ylijuoksukynnyksen yli tavallisesti kaasunerotussäiliön toiseen päähän, josta johtaa palautusputki sekoitussäiliölle. Perälaatikolle pumpattava kuitususpensio otetaan kaasunerotussäiliön pohjaan järjestetyn poistosukan kautta perälaatikon syöttöpumpulle. Eriaisia kaasunerotussäiliöratkaisuja käsitellään mm. US patenteissa 5,236,475, 4,478,615, 4,455,224, 3,538,680, 2,717,536, 2,685,937 ja 2,642,950, joista kolme viimeksi mainittua käsittelevät ylijuoksutonta kaasunerotussäiliötä.

- US-patenttijulkaisussa 2,717,536 käsitellään kaasunerotuslaitteistoa, jossa pyörrepuhdistuslaitoksesta tuleva kuitususpensiovirta johdetaan kaasunerotussäiliöön, jossa ei ole ylijuoksukynnystä, vaan säiliön pinnankorkeus pidetään vakiona pinnankorkeusanturin ja sen ohjaaman syöttöpumpun virtaussäätö-

venttiilin avulla. Lisäksi kyseisessä julkaisussa esitetään kaasunerotussäiliön sijoittaminen konetasolle eli samalle tasolle paperikoneen perälaitikon kanssa.

- US patenttijulkaisussa 2,685,937 esitetään myöskin ylijuuksuton kaasunerotussäiliö. Tämän patentin kuvaamassa ratkaisussa kaasunerotussäiliöön on järjestetty koho, joka seuraa kuitususpension pinnankorkeuden muutoksia. Kohon liikkeiden avulla vaikutetaan suoraan säiliöön syötettävään kuitususpensiovirtaan säättämällä suihkuputkien kautta säiliöön syötettävän kuitususpension määrää.

10

Edellä esitetyissä teknikan tason mukaisissa laitteissa on muutamia haittapuolia, joista kannattaa mainita esimerkiksi seuraavat ongelmat.

- Ensinnäkin, sekä ylijuuksun että erilaisten kohoratkaisujen tai muiden pinnankorkeutta suoraan seuraavien laitteiden avulla säädetty kaasunerotussäiliön pinnankorkeus pysyy luonnollisesti vakiona, mutta sillä ei suinkaan päästä siihen, mikä tarkoitus pinnansäädöllä pohjimmitaan on eli perälaitikon syöttöpumpun vakiona pysyvä tulopaine. Syynä tähän on se, että tulopaineen määrä pinnankorkeuden kanssa yhdessä pumpattavan kuitususpension tiheys.
- 20 Mainituun tiheyteen puolestaan vaikuttaa mm. kuitususpension täyteaineepitoisuus ja kaasupitoisuus. Siitä huolimatta, että kuitususpension täyteaineepitoisuuden tulisi olla mahdollisimman vakio, on siinäkin jonkin verran heilahtelua. Kuitenkin suurimman osan tiheyshellahteluista aiheuttaa kuitususpension kaasupitoisuus, joka voi pahimmillaan vaihdella useita prosentteja. Näin suuret muutokset kuitususpension tiheydessä aiheuttavat myös heilahtelua perälaitikon syöttöpumpun pumpaamaan massamäärään, mikä heijastuu suoraan lopputuotteen paksuusheilahteluina.

- Edelleen teknikan tason mukaiset laitteistot eivät pysty ottamaan nopeasti huomioon esimerkiksi koneen nopeuden muutoksen aiheuttamia ongelmia. Tekniikan tason mukaisesti näitä ongelmia pyrittiin ratkomaan kuvion 2 lohko-

kaavion, jossa käsitellään tilannetta, jossa paperikoneen nopeutta joko lisätään (kuvion oikea puoli) tai vähennetään (kuvion vasen puoli), esittämällä tavalla. Ensimmäisenä muutetaan tekniikan tason mukaisessa järjestelmässä luonnollisesti perälaatikon huulivirtausta, koska sillä ohjataan koneen tuotantoa, lasketaanpa se sitten tuotteen neliöpainona tai koneen tuottamina tonneina. Lähtökohtana on sekä perälaatikon paineen että tuotteen neliöpainon pitäminen vakiona huolimatta koneen nopeuden muutoksesta. Tekniikan tason mukaisella säätöjärjestelmällä asia hoidetaan siten, että paperikoneen nopeuden noustessa perälaatikon huuliaukko avataan niin, että huuliaukosta (oletaen perälaatikossa vallitsevan vakiopaine) virtaa koko ajan paperikoneen viiran nopeuteen suhteutettuna vakiomäärä massaa viiralle. Säätöjärjestelmän huomatessa perälaatikon huuliaukon avaamisen perälaatikon paineen alenemisena, painetta lähdetään nostamaan lisäämällä syöttöpumpun tuottoa. Tämä puolestaan johtaa kaasunerotussäiliön pinnan alenemiseen, jolloin säätöjärjestelmä määräää sekoituspumpun syöttämään enemmän massaa kaasunerotussäiliöön, jolloin säiliön pinnankorkeus palaa ennalleen. Tämän tyypinien säätöjärjestely aiheuttaa monenlaisia paineheilahtelua lähestymisjärjestelmään. Ensinnäkin, jotta perälaatikon paine pysyi vakiona kaasunerotussäiliön pinnan laskiessa ja samalla perälaatikon syöttöpumpun tulopaineen laskiessa, lisätään syöttöpumpun kapasiteettia. Kun säätö on ehtinyt sekoituspumpulle saakka, sekoituspumppu nostaa kaasunerotussäiliön syöttöä, jolloin säiliön pinta alkaa kohota. Tämä aiheuttaa paineen kohoamisen perälaatikossa, mikä puolestaan johtaa perälaatikon syöttöpumpun kapasiteetin pienentämiseen paineen tasaamiseksi. Kun kaasunerotussäiliön pinnankorkeus puolestaan on saavuttanut tavoitearvonsa, säätöjärjestelmä ohjaa sekoituspumppua vähentämään virtausta, josta seuraa uusi painevaikutus perälaatikkoon. Tällä kertaa perälaatikon paine heilahtaa alas paineeseen, koska perälaatikon syöttöpumppu on pienentänyt kapasiteettiä vastaamaan kaasunerotussäiliön kohoavaa pintaa. Kun pinta ei enää kohoakaan, ei myöskään syöttöpumpun tulopaine kohoa. Säätöjärjestelmä hoitaa tämän tilanteen nostamalla perälaatikon syöttöpumpun kapasiteettia perälaatikon paineen kohottamiseksi tavoitearvoonsa. Käytännössä yllä kuvattu tapa-

tuma johtaa siihen, että koko edellä kuvatun säädön aikaisen tuotannon on vaara joutua hylyksi, koska perälaatikon paineheilahtelut ovat suoraan nähtävissä tuotannon neliömassan heilahteluina. Alvan vastaavalta tavalla paperikoneen nopeuden pienentämisen seurannalsvaikutukset ovat nähtävissä kuvion 2

5 vasemmanpuoleisessa osassa.

Perimmäisenä syynä ongelmiin on se, että erilaiset säätötoimenpiteet hoitetaan viiveellä, jolloin joko perälaatikon paineessa, kaasunerotussäillön pinnankorkeudessa tai molemmissa on jo tapahtunut selviä muutoksia. Tällöin näiden

10 korjaaminen aiheuttaa vastakkaisuuntaisia muutoksia, joiden korjaus edelleenkin tehdään tekniikan tason mukaan viiveellä, mikä luonnollisesti johtaa siihen, että tasapainotilanteeseen pääsy vie kohtuuttoman pitkän ajan.

Keksinnön mukaiselle menetelmälle paperikoneen tai vastaavan lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi, jotka ratkaisevat mm. edellä esitettyt ongelmat, tunnusmerkilliset piirteet käyvät ilmi oheisista patenttivaatimuksista.

Seuraavassa keksinnön mukaista menetelmää paperikoneen tai vastaavan lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi selitetään yksityiskohtaisemmin

20 viittaamalla oheisiin kuvioihin, joista

kuvio 1 esittää pääosin US patentissa 4,219,340 esitettyä tekniikan tason mukaista ratkaisua,

kuvio 2 esittää tekniikan tason mukaista perälaatikon paineen säätöjärjestelmää lohkokaaviona,

25 kuvio 3 esittää keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaista paperikoneen lähestymisjärjestelmän säätöjärjestelmää lohkokaavion muodossa, ja kuvio 4 esittää kuvion 3 mukaisessa suoritusmuodossa sovellettavaa laitejärjestelyä.

30 Kuviossa 1 esitettynä tekniikan tason mukaisen paperikoneen lähestymisjärjestelmään kuuluu sekoitussäiliö/viirakaivo 10, syöttöpumppu 12, pyörrepuh-

- distuslaitos 14, kaasunerotussäiliö 16, perälaitikon syöttöpumppu 18, perälaitikkosihti 20, paperikoneen perälaitikko 22 ja viiravesien keräilyaltaat (ei esitetty). Mainitut komponentit on sijoitettu paperikoneen 24 yhteyteen ja järjestetty toimimaan seuraavasti. Sekoitussäiliöön 10, joka voi olla myös viiravaike, johon viiravedet kerätään, ja joka sijaitsee tavallisesti tehtaan pohjatasolla annostellaan paperivalmistuksessa käytettävä kuituaine, joka voi koostua tuoreesta massasta, toismassasta tai hylystä, ja täyteaineet, joiden laimennukseen käytetään paperikoneita, lähinnä sen viiraosalta saatavaa ns. viiravettä, ns. paperimassan muodostamiseksi. Niinikään tehtaan pohjatasolle sijoittuvalla syöttöpumpulla 12 kyselinen paperimassa pumpataan sekoitussäiliöstä 10 tavallisesti tehtaan konetasolla K, se taso, johon paperikone 24 sijoitetaan, olevaan pyörrepuhdistuslaitokseen 14. Pyörrepuhdistuslaitoksen 14 akseptoima paperimassa jatkaa edelleen mainitun syöttöpumpun 12 kehittämällä paineella kaasunerotussäiliöön 16, joka on sijoitettu konetasoon yläpuolella olevalle tasolle T. Kaasunerotussäiliöstä 16 olennaisesti kaasuton paperimassa, josta siis kaasu on mahdollisimman tarkkaan poistettu, virtaa tehtaan pohjatasolla olevalle perälaitikon syöttöpumpulle 18, joka pumpaa paperimassan niinikään pohjatasolla olevalle perälaitikkosihdille 20, josta akseptoitu paperimassa virtaa konetasolle K paperikoneen 24 perälaitikkoon 22.
- 20
- (1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(6)
(7)
(8)
(9)
(10)
(11)
(12)
(13)
(14)
(15)
(16)
(17)
(18)
(19)
(20)
- Kaasunerotussäiliö 16 vaatii toimiakseen tyhjöjärjestelmän 17, johon tavallisimmin kuuluu kaasunerotussäiliön 16 kanssa samalle tasolle sijoittuva tyhjöpumppu, useimmiten ns. nesterengaspumppu, ja pisaranerotin, jolla tyhjöpumpun imemästä ja tyhjöpumppua kohti virtaavasta kaasusta erotetaan siinä mahdollisesti olevat nestepisarat. Itse kaasunerotussäiliö 16 on périnteisesti suurikokoinen olennaisesti vaakasuora säiliö, jonka sisälle pyörrepuhdistuslaitoksesta 14 tuleva paperimassa suihkulettaan erillisten suihkuputkien kautta. Suihkutuksen tarkoituksena on antaa kuplamaiselle kaasulle mahdollisuus poistua paperimassasta jo tässä vaiheessa. Kaasunerotussäiliössä 16 on edelleen välineinä ns. ylijuoksukynnys, jonka tarkoituksena on pitää paperimassan pinnan P korkeus vakiona säiliössä 16. Pyrkimyksenä tällä on varmistaa se, että perälaitikkosihti 20 on mahdollista poistaa kaasun ja seuraavasti
- 25
- 30

- laatikon syöttöpumpun 18 tulopaine pysyy vakiona. Toisin sanoen, sekoitussäiliöstä 10 syötetään pyörrepuhdistuslaitokseen 14 läpi kaasunerotussäiliölle 16 aina jonkin verran enemmän paperimassaa kuin perälaatikko 22 tarvitsee. Ylimääräinen paperimassa juoksutetaan ylijuoksukynnyksen yli tavallisesti kaasunerotussäiliön 16 toiseen päähän, josta johtaa palautusputki 34 sekoitussäiliölle 10. Perälaatikolle 22 pumpattava paperimassa otetaan kaasunerotussäiliön 16 pohjaan järjestetyn poistoaukon ja siihen liitetyn poistoputken 36 kautta perälaatikon syöttöpumpulle 18.
- 10 Kuvion 2 lähikankaaviossa esitetään tekniikan tason mukainen järjestelmä perälaatikon paineen pitämiseksi vakiona. Kuvion 2 lähikankaaviossa käsitellään tiilannetta, jossa paperikoneen nopeutta lasketaan (kuvion vasen puoli) tai lisätään (kuvion oikea puoli). Aivan vastaavalla tavalla toimitaan missä tahansa muussakin lajin vaihtolanteessa. Ensimmäisenä paperikoneen nopeutta nostettaessa on mahdollista muuttaa joko perälaatikon 22 huulivirtausta avaamalla perälaatikon 22 huulta vastaamaan paperikoneen nopeuden nousua tai lisäämällä perälaatikon painetta. Useimmissa tapauksissa koneen nopeuden nosto kompensoidaan perälaatikon painetta kohottamalla. Tekniikan tason mukainen säätöjärjestelmä siis edellyttää koneen tietyn nopeuden vastaavan tiettyä perälaatikon painearvoa, jolloin kohonnut koneen nopeus edellyttääsi perälaatikon paineen olevan aiempaa korkeampi. Itse asiassa tilanne olisi aivan sama silloin, kun perälaatikon paine lähtisi vakioajolanteessa alenemaan. Tällöin säätöjärjestelmä luonnollisesti ohjaa perälaatikon 22 syöttöpumpun 18 nostamaan perälaatikon 22 syöttöä. Tämä puolestaan johtaa kaasunerotussäiliön 16 pinnan alenemiseen, jolloin säätöjärjestelmä määräää paperimassaa kaasunerotussäiliölle 16 syöttäväri sekoituspumpun 12 syöttämään enemmän massaa kaasunerotussäiliöön 16, jolloin säiliön 16 pinnankorkeus palaa ennalleen. Tämän tyypinien säätöjärjestely aiheuttaa monenlaisia paineheilahteita lähestymisjärjestelmään. Ensinnäkin, jotta perälaatikon 22 paine pysyisi vakiona kaasunerotussäiliön 16 pinnan laskissa ja samalla perälaatikon 22 syöttöpumpun 18 tulopaineen laskiessa, lisätään syöttöpumpun 18 kapasiteet-

tia. Kun säätöjärjestelmän ohjaustoiminto on ehtinyt sekoituspumpulle 12 saakka, sekoituspumppu 12 nostaa kaasunerotussäiliön 16 syöttöä, jolloin säiliön 16 pinta alkaa kohota. Tämä aiheuttaa paineen kohoamisen perälaitikossa 22, mikä puolestaan johtaa perälaitikon 22 syöttöpumpun 18 kapasiteetin pienentämiseen paineen tasaamiseksi. Kun kaasunerotussäiliön 16 pinnankorkeus puolestaan on saavuttanut tavoitearvonsa, säätöjärjestelmä ohja sekotuspumppua 12 vähentämään virtausta, josta seuraa seuraavanlainen painevaietus perälaitikkoon 22. Tällä kertaa perälaitikon 22 paine heilahtaa alas paini, koska perälaitikon 22 syöttöpumppu 18 on pienentänyt kapasiteettiaan vastaamaan kaasunerotussäiliön 16 kohoavaa pintaan. Säätöjärjestelmä hoitaa tämän tilanteen nostamalla perälaitikon 22 syöttöpumpun 18 kapasiteettia perälaitikon 22 paineen kohottamiseksi tavoitearvoonsa. Käytännössä yllä kuvattu tapahtuma johtaa siihen, että koko edellä kuvatun säädön aikainen tuotanto joutuu hyllyksi, koska perälaitikon 22 paineheilahtelut ovat suoraan nähtävissä tuotannon neliomassan heilahteluina.

Kuvion 3 lohkokaaviossa esitetään keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukainen tapa hoitaa perälaitikon paineen sääti ja kaasunerotussäiliön pinnan sääti niin, että haitallisilta painevaihteluilta välttyää. Lähtökohtana kuvion 20 3 esimerkissä, kuten kuvion 2 esimerkissäkin, on tilanne, jossa perälaitikon paine muuttuu (tässä esimerkissä paine laskee) tai sen oletetaan muuttuvan joko lajinvaihdon vuoksi, paperikoneen nopeuden muutoksen takia tai jostakin muusta syystä. Keksinnön mukainen säätöjärjestelmä voi saada tiedon paineen alenemisesta monesta eri lähteestä. Yksi mahdollisuus on käyttää perälaitikon 25 paineanturin antamaa informaatiota. Toinen mahdollisuus on seurata perälaitikon syöttöpumpun toimintapistettä. Kun paine perälaitikossa muuttuu, muuttuu myös syöttöpumpun toimintapiste. Toisin sanoen, vaikka pumpun ottama teho tai väänömomentti pysyykin vakiona, pumpun tuotto muuttuu kierrosnopeuden muuttuessa. Tai, jos kierrosnopeus pidetään vakiona perälaitikon paineen 30 muutos muuttaa pumpun tehontarvetta.

Esimerkiksi paineen alieneminen perälaatikossa merkitsee suoraan pumpun vastapaineen pienennemistä, joka aiheuttaa joko pumpun tuoton lisääntymisen vakioteholla tai pumpun ottaman tehon pienennemisen vakiokierrosnopeudella. Siten paineen muuttuminen perälaatikossa on nähtävissä myös perälaatikon

- 5 syöttöpumpun virtausmuutoksesta. Toisin sanoen tiettyllä pumpun teholla kuitenkin pumpun tuottoarvoa vastaa tietty perälaatikon huuliaukko ja perälaatikon paine. Kun kysälle pumpun teholla pumpun tuotto muuttuu, tiedetään, että perälaatikon paine ja/tai huuliaukko ovat muuttuneet. Tällöin paineen aletessa perälaatikossa säätöjärjestelmä nostaa sekoituspumpun kapasiteettia. Toisin
- 10 sanoen sekoituspumppu pyrkii pitämään kaasunerotussäiliön pinnankorkeuden vakiona ja perälaatikon syöttöpumppu perälaatikon paineen vakiona. Koska sekoituspumpun vaikutus kaasunerotussäiliön pinnankorkeuteen on suhteellisen hidasta ja koska puolestaan kaasunerotussäiliön pinnankorkeuden muutoksen vaikutus perälaatikon syöttöpumpun tulopaineeseen on myös suhteellisen hidasta, tarvitaan eri ohjaustapahtumien välillä viiveitä. Nämä eri ohjaustoimintojen viiveet ja asetusarvot on säädetty ohjaus- ja säätöjärjestelmään siten, että kaasunerotussäiliön pinnankorkeus ja perälaatikon paine pysyvät stabiileina.
- 15
- 20 Käytännössä keksinnön mukaiseen säätöjärjestelmään perälaatikon paineen säättämiseksi ja kaasunerotussäiliön pinnankorkeuden ohjaamiseksi tarvitaan seuraavia lähtötietoja.
 - Kaasunerotussäiliön pinnankorkeus, sen raja-arvot ja pinnan korkeuden muutoksen suunta.
- 25
- Perälaatikon syöttöpumpun tuotto eli kapasiteetti
 - Säätöjärjestelmän sisältämä neuroverkko tai jokin muu ohjelmallisseen laskentaan perustuva epäsuora mittausmenetelmä eli ns. 'soft sensor' määrittää pumpun tuoton esimerkiksi pumpun ominaiskäyrästältä pumpun kierrosnopeuden ja paineeron pohjalta
- 30
- Sekoituspumpun tuotto eli kapasiteetti

- Säätöjärjestelmän sisältämä neuroverkko tai muu 'soft sensor'
määrittää kapasiteetin edellä kuvattujen lähtötietojen avulla.

- Perälaatikon paine.

5 Säätöjärjestelmä käsittelee tai käyttää hyväksi edellä määritellyjä tietoja seuraavasti. Kun säätöjärjestelmä havaitsee kaasunerotussäiliön pinnankorkeuden muutluvan hitaasti, se ohjaa perälaatikon syöttöpumppua kompensoimaan tulopaineen muutosta niin, että perälaatikon syöttöpaine pysyy vakiona. Esimerkiksi pinnankorkeuden laskiessa säätöjärjestelmä lisää tasaisesti, ja hitaasti,
10 syöttöpumpun kiertosnopeutta, jolloin alenevasta pinnankorkeudesta seuraava aleneva tulopaine kompensoituu syöttöpumpun hitaasti kohoavalla tuotolla, joka kohottaa samassa suhteessa perälaatikon painetta. Mikäli pinnankorkeuden muutosnopeus kaasunerotussäiliössä on riittävän hidaskin, säätöjärjestelmä ei
ohjaa sekoituspumppua lisäämään kaasunerotussäiliön syöttöä, koska pinnankorkeus mahdollisesti palautuu itsestään takaisin. Vasta pinnankorkeuden lähestyessä raja-arvoa, ohjaa säätöjärjestelmä sekoituspumppua vastaamaan meinittiin muutokseen. Toisin sanoen keksinnön mukainen säätöjärjestelmä antaa kaasunerotussäiliön pinnankorkeuden asettua vapaasti määrätyjen ylä- ja alarajojen välille.

15

20

Joissakin tapauksissa voidaan myös pitää tarpeellisenä, että säätöjärjestelmä ohjaa sekoituspumppua ennakkoivasti siten, että sekoituspumpun tuottoa muuttetaan ennakkoivasti suhteessa syöttöpumpun tuoton muutokseen. Tällä halutaan ottaa huomioon se viive, joka syntyy sekoituspumpun ja kaasunerotussäiliön välille sijoittuvasta putkilinjasta ja mahdollisesta pyörrepuhdistuslaitoksesta. Tällöin päästään optimilanteessa siihen, että perälaatikon pinta ei muutu ollenkaan perälaatikon huulivirtauksen muuttuessa.

25

Mikäli on tarvetta mennä muuttamaan sekoituspumpun syöttöä kaasunerotussäiliön pinnan palauttamiseksi oletusarvoonsa eli suurin piirtein raja-arvojen keskivälille, säätöjärjestelmä ohjaa, riippuen sekoituspumpun syötön muutok-

- sen suunnasta, syöttöpumppua joko vähentämään tai lisäämään syöttöä perälaatikolle. Jos esimerkiksi kaasunerotussäiliön pinta pyrkii laskemaan alarajan saa alapuolelle, säätöjärjestelmä ohjaa sekoituspumppua lisäämään syöttöä kaasunerotussäiliöön. Samanaikaisesti säätöjärjestelmä valmistautuu pienentämään, tietyn viiveen jälkeen, perälaatikon syöttöpumpun tuottoa eli käytönnössä syöttöpumpun painevaikutusta perälaatikkoon. Tämä siksi, että kaasunerotussäiliön kohoava pinta nostaa syöttöpumpun imupainetta, joka sinilään jo kohottaa perälaatikon painetta.
- 10 Kaasunerotussäiliön pintasääädössä toteutetun sumean logiikan avulla voidaan ylijuoksu jättää säiliöstä pois. Pinnansäätö voidaan kuvion 3 mukaisesti hoitaa itse asiassa kolmella tavalla. Ensimmäinen tapa on ohjata sekoituspumpun kapasiteetin muutosta sumean logiikan ja kaasunerotussäiliön pinnan muutoksen mukaan, Toinen tapa on edelleen parantaa pinnansäätöä säädön myötäkytkennän avulla, jolloin peränsyöttöpumpun muuttuneista kierrosluvusta ja paine-erosta voidaan neuroverkon avulla määrittää pumppukäyrästä virtausmuutos. Tämä tieto kaasunerotussäiliöstä ulos lähtevän virtauksen muutoksesta siirretään suoraan virtaussäätöpiiriin tai sumean logiikan kautta sekoituspumpulle, jonka kieroksia muutetaan taas neuroverkkolaskennalla (tässä tarvitaan taas pumppukäyrää sekä paine-erba) tai muun ns. 'soft-sensorin' avulla. Luonnollisesti muut kaasunerotussäiliöön tulevat virtaukset on huomioitu. Käytännössä myötäkytkennällä tarkoitetaan sitä, että neuroverkon avulla määritetään perälaatikon syöttöpumpun kapasiteetti ja kyseistä kapasiteettia vaaditaan myös sekoituspumpulta lisättynä mahdollisilla rejektivirtoilla,
- 15 20 25 30
- jotka prosessissa erotetaan ennen syöttöpumppua. Lähtökohtana tieteenkin on, että mainittujen rejektivirtojen osuus tai suuruus tiedetään. Kun tässä myötäkytkennässä otetaan vielä huomioon eri suuruiset viiveet eri osissa prosessia, voidaan pumppujen syötöt ja niiden muutokset ajoittaa alkamaan niin, että sen enempää kaasunerotussäiliön pinta kuin perälaatikon painekaan eivät muutu käytännöllisesti katsoen ollenkaan oletusarvoistaan (oletusarvo voi luonnollisesti muuttua esimerkiksi edellä esitetyn esimerkin kaltaisessa tilanteessa).

Sumeaa logiikkaa ei siis varsinaisesti tarvitse käyttää perän painevaihteluiden minimoimiseen vaan lähiinä kaasunerotussäiliön pinnan hallintaan. Sumean logiikan apuna käytetään neuroverkkoa tai muuta 'soft sensoria' em. säädön myötäkytkennässä.

Lajinvaihtolanteessa, jossa koneen tuotantoa muutetaan, ja jossa myös perälaatikon paine voi muuttua merkittävästi, säätöjärjestelmä muuttaa edullisesti portaittain perälaatikon painetta. Tällöin säätöjärjestelmä lähtee muutamaan sekä sekoituspumpun että syöttöpumpun tuottoa ollenaisen samanaikaisesti ottaen luonnollisesti huomioon edellä mainitut viiveet.

Voidaan jopa ajatella, että tuotantokoneen käyttäjä ilmoittaa säätöjärjestelmälle tuotantokoneelta haluttavan loppuotteenten nelöpainon, jonka jälkeen säätöjärjestelmä hoitaa lajinvaihdon loppuun optimoiden toimenpiteessä tarvittavat vaiheet. Käytännössä säätöjärjestelmään on etukäteen syötetty millaista perälaatikon huuliaukkoja ja millaista perälaatikon painetta tarvitaan kutakin ajateltavissa olevaa nelöpainoa varten. Kun säätöjärjestelmä näkee, miten paljon huuliaukkoja ja/tai perälaatikon painetta on muutettava, se toimii ennalta ohjelmoitusti, joko tehden yhdessä vaiheessa sekä huuliaukon muutoksen että perälaatikon painemuutoksen tai vaihtoehtoisesti muuttaen näistä toista tai molempia kahdessa tai useammassa portaassa. Itse säätöjärjestelmän toiminta on jo edellä kuvatun kaltainen.

Erään lisävivanteen säätöjärjestelmän toimintaan tuo vielä pyörrepuhdistuslaitoksen olemassaolo tai sen puuttuminen lähestymisjärjestelmästä. Mikäli pyörrepuhdistuslaitosta ei lähestymisjärjestelmässä ole, säätöjärjestelmän toiminta on edellä kuvatun kaltainen. Jos lähestymisjärjestelmässä on pyörrepuhdistuslaitos, täytyy säätöjärjestelmän pystyä ottamaan se huomioon jollakin tavoin. Itse asiassa ainoa asia, joka pyörrepuhdistuslaitoksen olemassaolosta kannattaa ottaa huomioon, on sen rejektivirtaus. Toisin sanoen pyörrepuhdistus-

- Iaitos ei päästä kaikkea sisääntulevaa materiaalia kaasunerotussäiliöön, vaan osa materiaalista johdetaan pois lyhyestä kierrosta. On olemassa useampia tapoja pyörrepuhdistuslaitoksen huomioimiseksi. Eräs tapa on ottaa pyörrepuhdistuslaitoksesta aina vakiosuuruinen rejktivirtaus riippumatta laitokseen tulevasta virtauksesta. Tällöin säätötjärjestelmän on helppoa vähentää sekoituspumpun syöttöä pyörrepuhdistuslaitoksen rejktiin joutuva osuus ja käyttää saatua erottusta jatkotoimenpiteiden lähtöarvona. Toinen tapa on ottaa siinä suhteessa yhtä suuri osa virtauksesta rejktivirtaukseen. Tällöin toimitaan itse asiassa samoin kuin edelläkin paitsi, että kaasunerotussäiliöön kulkeutuvan virtauksen todellinen määrä saadaan kertolaskun tuloksena kertoen sekoituspumpun syöttöä pyörrepuhdistuslaitoksen akseptivirtauksen suhdeluvulla (esim. 0.97). Kolmantena tapana on määritää erikseen rejktivirtauksen määrä, jolloin vähentämällä rejktivirtauksen määrää sekoituspumpun syöttöä saadaan kaasunerotussäiliöön menevän materiaalin määrä.
- 15 Kuviossa 4 esitetään keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukainen ratkaisu, jossa viiravedet paperikoneelta 124 johdetaan viiravesisäiliöön 110, joka pohjaosassa kultususpensio sekä erilaiset täyteaineet yhdistetään paperimassaksi. Viiravesisäiliöstä 110 paperimassa viedään sekoituspumpun 112 avulla pyörrepuhdistuslaitokseen 114, ja siltä edelleen kaasunerotussäiliöön 116 ja edelleen syöttöpumpun 118 avulla paperikoneen perälaitikon 122 teknikan tasosta tunnetulla tavalla. Uutta kuvion mukaisessa suoritusmuodossa edustaa kaasunerotussäiliön 116 pinnansäätö, jota ei ole toteutettu sen enempää tekniikan tason mukaisella ylijuuksilla kuin kohojärjestelmälläkään. Koska kaasunerotussäiliön 116 pinnansäädöllä pyritään varmistamaan se, että paperimman paine paperikoneen perälaitikossa pysyy mahdollisimman tarkoin vakiona, lähtee keksinnön mukainen pinnansäätö siitä, että paperimassan pinnan annetaan vaihdella tietyissä rajoissa kaasunerotussäiliössä 116, ja järjestelmän pumpujen 112 ja 118 toiminnan ohjauksella hoidetaan perälaitikon 122 paineen säätö. Toisena uutena tapana on uudentyypin tapa varmistaa perälaitikon paineen pysyminen vakiona. Perälaitikon 122 painetta seurataan

paineanturilla 148, jonka antama paineimpulssi rekisteröidään ja johdetaan säätöjärjestelmän ohjausyksikköön 150, joka pyrkii pitämään sen vakiona. Se tapahtuu tämän keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisesti ensisijaisesti siten, että perälaatikon 122 syöttöpumppua 118 ohjataan mainitun paineanturin 148 antaman impulssin perusteella säätöjärjestelmän ohjausyksikön 150 avulla. Paineimpulssin osoittaessa paineen pyrkivän laskemaan säätöjärjestelmä määrään syöttöpumpun 118 lisäämään syöttöään, jolloin paine perälaatikossa 122 tasoittuu ja nestepinta kaasunerotussäiliössä 116 laskee. Vastaavasti paineen kohotessa ohjausyksikkö määräää syöttöpumpun 118 vähentämään syöttöään, jolloin paine perälaatikossa 122 pääsee alenemaan ja pinta säiliössä 116 kohoaa. Pinnankorkeuden kaasunerotussäiliössä 116 siis annetaan jonkin verran vaihdella. Riippuen kaasunerotussäiliön 116 pinnankorkeuden muutosnopeudesta voidaan myös kaasunerotussäiliöön 116 paperimassaa syöttävän sekoituspumpun 112 syöttää eli käytännössä pyörimisnopeutta lisätä 15 tai vähentää. Toisin sanoen, jos säiliön 116 pinnankorkeus muuttuu hyvin hitaasti, keskusyksikkö pelkästään seuraa sitä. Luonnollisesti tiettyyn rajaan saakka. Jos pinnankorkeus puolestaan laskee nopeasti, ohjaa keskusyksikkö sekoituspumppua 112 lisäämään syöttöä niin, että kaasunerotussäiliön 116 pinnankorkeuden lasku kompensoituu. Vastaava säätötoimenpide, mutta päävästaisena suoritetaan luonnollisesti myös säiliön 116 pinnankorkeuden kohdessa.

Luonnollisesti säätöjärjestelmä, pääasiassa ohjausyksikkö, on myös mahdollista "opettaa" toimimaan monipuolisemmin eli paineanturin 148 paineimpulssin muutosnopeus voidaan järjestää ohjaamaan myös sekoituspumpun 112 syöttöä ja edullisesti myös syöttönopeuden muutosnopeutta. Luonnollisesti, mikäli ei haluta ohjata suoraan sekoituspumppua 112 on mahdollista järjestää sekoituspumpun 112 ja kaasunerotussäiliön 116 väliseen putkilinjaan 152 venttiili 154, jonka toimintaa ohjataan (esitetty katkoviivalla) myös ohjausyksikön avulla paineanturin 148 antamien impulssien pohjalta.

Edelleen on mahdollista ja tietystä tilanteessa myöskin tarpeen kytkeä säätö-järjestelmään eli tarkemmin sanoen ohjausyksikköön myös kaasunerotussäiliön 116 tyhjöjärjestelmä 126. Tätä voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun massan pinta kaasunerotussäiliössä 116 pyrkii joko laskemaan liian matalalle tai ko-hoamaan liian korkealle. Pinnan laskiessa liian alas, esimerkiksi koholaitteella tai muulla vastaavalla järjestelyillä mitaten, määräää ohjausyksikkö kohottamaan säiliön 116 alipainetasoa ja samanaikaisesti lisäämään sekoituspumpun 112 syöttöä, tai vaihtoehtoisesti venttiilin 154 aukeamaa, paineanturin 148 valvoes-sa perälaatikon 122 syöttöpumpun 118 tulopaineen pysymistä vakiona. Kaa-sunerotussäiliön pinnankorkeuden optimitilan lähestyessä alipainetasoa ja se-koituspumpun 112 syöttöä, vaihtoehtoisesti venttiilin 154 aukeamaa, lasketaan vähitellen paineanturin 148 valvomana, kunnes päästään vakiotilanteeseen.

Edelleen tilanteessa, jossa perälaatikolla 122 tai tuotantomoneen viiraosalla olevan anturin antaman impulssin perusteella ilmenee tarvetta muuttaa perä-laatikon 122 syöttöä, se voidaan holtaa siten, että ohjausyksikkö 150 tulkitsee sinne tulleen ohjausimpulssin siten, että se määräää muuttamaan ensin vastaa-vasti kaasunerotussäiliön 116 syöttöä (sekoituspumpun 112 ja/tai venttiilin 154 avulla), jonka jälkeen tietyn viiveen kuluttua se määräää edelleen muuttamaan perälaatikon 122 syöttöpumpun 118 syöttöä. Impulssin, joka johtaa tähän pe-rälaatikon syöttöpumpun syötön muutokseen, voi antaa vaikkapa paineanturi 148.

Edullisesti syöttöpumppuna 112 käytetään potkuripumppua, koska kyseiseltä pumpulta tässä käytökohteessa vaadittava syöttöpaine ei ole kovinkaan kor-kea. Samoin kaasunerotussäiliön 116 tyhjöpumppuna käytetään edullisesti Ahlstrom Pumps Corporationin, High Speed tyhjöpumppuja, joiden alipainetaso on säädetävissä pumpun kierrosnopeutta muuttamalla. Tosin on luonnollisesti mahdollista myös käyttää vanhemman teknikan mukaisia vesirengaspumppuja, joiden tyhjötaso on venttiilin avulla säädetävissä.

Olipa kyseessä sitten pyörrepuhdistuslaitoksella varustettu lähestymisjärjestelmä, lähestymisjärjestelmä, jossa pyörrepuhdistus on sijoitettu jo aiemmin kunkin massajakeen osale erikseen, tai kokonaan ilman pyörrepuhdistusta toimiva lähestymisjärjestelmä, on sillle ominaista, että laitteet pyritään mahdollisuksienv 5 (fysiikan lakien) mukaan sijoittamaan samalle tasolle eli konetasolle. Kuitenkin on huonottava, että perälaatikon syöttöpumppua ei yleensä voida sijoittaa samalla tasolle kaasunerotussäiliön kanssa, koska alipaine kaasunerotussäiliössä on niin korkea, että pienikin imu parälaatikon syöttöpumpulta pän aiheuttaisi kavitointia eli säiliössä olevan veden kiehumista. Mainitusta syystä johtuen pe- 10 rälaatikon syöttöpumppu on vletävä jonkin verran kaasunerotussäiliön alapuo- lelle, jolloin kavitaatio ja siitä seuraava kiehuminen voidaan välttää.

Kuten edellä esitetystä huomataan, on pystytty kehittämään uudentyyppinen paperikoneen lähestymisjärjestelmä, joka poistaa monia tunnetun tekniikan heikkouksia ja haittauolia sekä ratkaisee ongelmia, jotka ovat haitanneet tek- 15 niikan tason mukaisten lähestymisjärjestelmien käyttöä. Edellä esitetystä on kuitenkin huonottava, että eri suoritusmuodoissa esitetyt yksittäiset uutuudet ovat sovellettavissa yksinään elvätä suinkaan vältämättä siinä yhteydessä, jossa ne on edellä esitetty. Siten on esimerkiksi täysin mahdollista ja keksinnöl- 20 lisien ajatuksen mukaista, että kuvion 4 suoritusmuodosta jätetäänkin pyörre- puhdistuslaitteisto kokonaan pois.

17

L2

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Menetelmä paperikoneen, kartonkikoneen tai vastaavan rainanmuodos-tuslaitteen lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi, jossa menetelmässä 5 muodostetaan viiravedestä, kuitususpensiosta ja täyteaineista massa, syöte-tään mainittu massa kaasunerotussäiliöön, erotetaan mainitusta massasta kaa-sua ja syötetään olennaisesti kaasuton massa tuotantokoneen perälaatikkoon, jolloin perälaatikon paineen muuttuessa syöttöpumpun tuottoa muutetaan, tun-nettu siitä, että järjestetään perälaatikon paineen muutos käynnistämään lä-10 hestymisjärjestelmän säätöjärjestelmä, jolla olennaisen samanaikaisesti ohja-taan ja säädetään useampia kohteita lähestymisjärjestelmässä.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lähes-tymisjärjestelmän säätöjärjestelmällä ohjataan sekä perälaatikon painetta että 15 kaasunerotussäiliön pinnankorkeutta.
3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että syöttö-pumpun ja sekoituspumpun toimintapistettä muutetaan olennaisen samanaikai-20 sesti.
4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että sekoi-tuspumpun toimintapistettä muutetaan ennakoivasti suhteessa syöttöpumpun 25 toimintapisteeseen muuttamiseen niin, että mainittujen pumpujen välille sijoittuvan kaasunerotussäiliön pinnankorkeus pysyy olennaisesti vakiona tai muuttuu hal-litusti.
5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että perä-laatikon syöttöpumpun toimintapisteen muutoksesta luetaan perälaatikon pai-neen muutos, jolloin mainittu syöttöpumpun toimintapisteen muutos käynnistää 30 säätöjärjestelmän säätötoiminnon.

6. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kaasunerotussäiliön pinnankorkeutta hallitaan järjestämällä perälaatikon paineen muutos käynnistämään säätöjärjestelmän säätötoiminnon.
- 5 7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että säätöjärjestelmä ohjaa samanaikaisesti sekä syöttö- että sekoituspumppua niin, että perälaatikon paine pysyy vakiona ja kaasunerotussäiliön pinnankorkeus pysyy vakiona tai muuttuu hallitusti.
- 10 8. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että säätöjärjestelmä ohjaa ennakoivasti sekoituspumppua syöttöpumpun suhteen niin, että perälaatikon paine ja kaasunerotussäiliön pinnankorkeus pysyvät vakiona.
- 15 9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muuttetaan säätöjärjestelmän avulla ainakin perälaatikon syöttöpumpun tuottoa paineen pitämiseksi vakiona tuotantokoneen perälaatikossa, seurataan samanaikaisesti massan pinnankorkeuden vaihtelua kaasunerotussäiliössä ja tarvittaessa ryhdytään toimenpiteisiin massan pinnankorkeuden korjaamiseksi kaasunerotussäiliössä.
- 20 10. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että mainitun pinnankorkeuden annetaan muuttua hitaasti kaasunerotussäiliössä välialkaisesti muuttamatta kaasunerotussäiliön syöttöä.
- 25 11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että perälaatikon paineen muutosnopeuden ollessa pieni kompensoidaan paineen muutos pelkästään perälaatikon syöttöpumpun kapasiteettia muuttamalla, jolloin annetaan kaasunerotussäiliön pinnankorkeuden muuttua vastaavasti.
- 30 12. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että perälaatikon paineen muutosnopeuden ollessa suuri kompensoidaan paineen

muutos muuttamalla olenaisen samanaikaisesti sekä perälaatikon syöttöpumpun kapasiteettia että sekoituspumpun kapasiteettia.

13. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lajin-

vaihtolanteessa sekä sekoituspumpun että syöttöpumpun kapasiteettia muuttetaan portaittain.

14. Patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että mainittua pinnansäätöä ohjataan sumealla logiikalla.

23

(57) Tiivistelmä

Esillä olevan keksinnön kohteena on menetelmä paperikoneen tai vastaan-

- 5 van tuotanto lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi. Erityisen edullisesti keksinnön mukainen menetelmä lähestymisjärjestelmän toiminnan ohjaamiseksi soveltuvat
- 10 käytettäväksi paperi- ja kartonkikoneiden sekä erilaisten non-woven-rainausta suorittavien koneiden yhteydessä.

15 (Fig. 3)



14 - 20 -

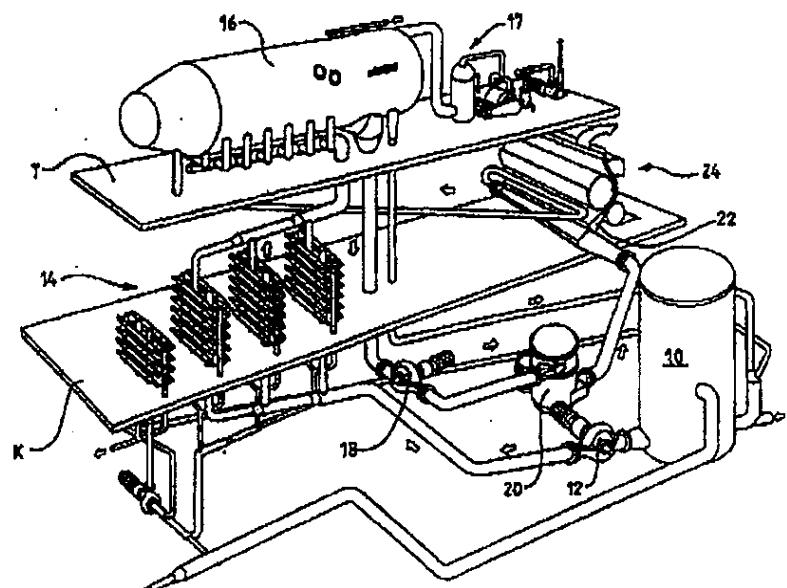


FIG. 1

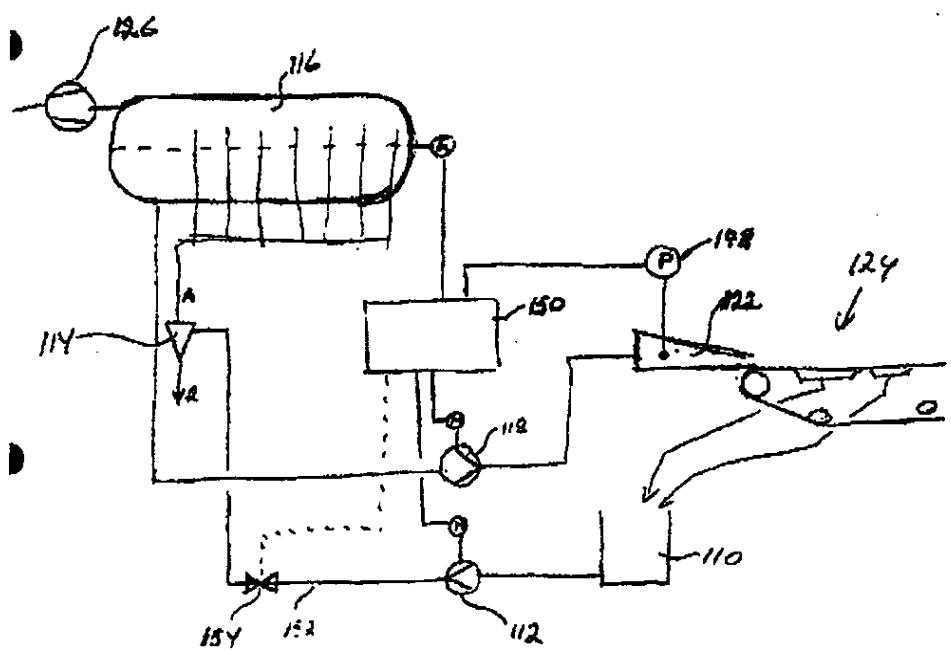


Fig. 4

-21-

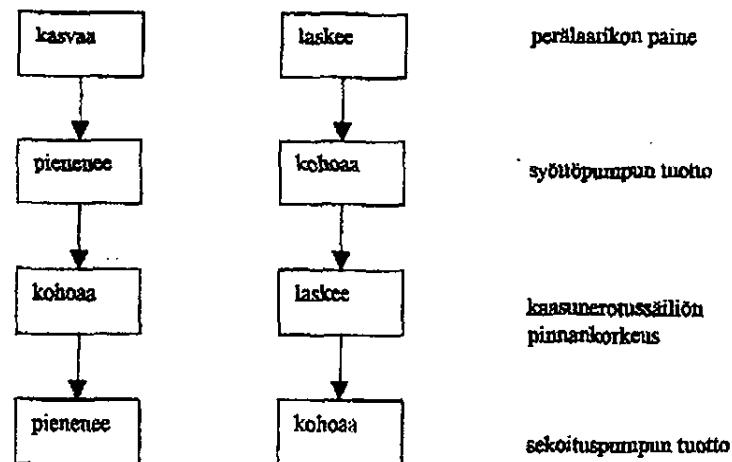


Fig. 2

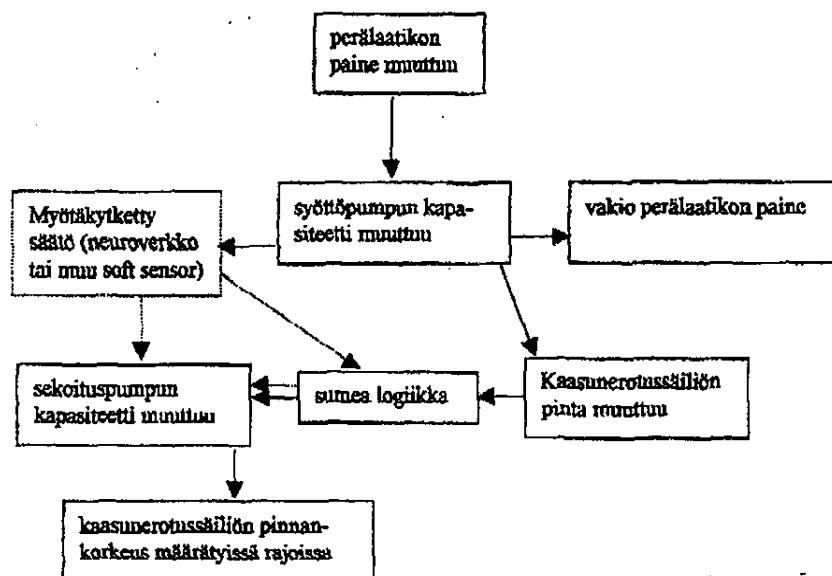


Fig. 3